

Wasserstoff - Wirtschaft

Die Energievernichtungskaskade der Wasserstoffwirtschaft ¹

Verfahrensschritte	Technische Angaben	Energieverluste MJ/kg H ₂	Verluste (in % des Wasserstoff)
Elektrolyse	1,76 Volt bei 1 atm	61	43 %
Kompression	1 bar → 200 bar	10	7 %
Kompression	1 bar → 400 bar	13	9 %
Kompression	1 bar → 800 bar	17	12 %
Verflüssigung	100 kg / h	65	46 %
Verflüssigung	1000 kg / h	45	32 %
Verflüssigung	10.000 kg / h	35	28 %
Straßentransport	200 bar, 200 km	18	13 %
Straßentransport	200 bar, 400 km	36	25 %
Straßentransport	flüssig, 200 km	3	2 %
Pipeline	10 bar, 1000 km	12	8 %
H ₂ -Elektrolyse an Tankstelle	entspricht 60.000 Liter Benzin pro Tag	80 *	56 %
Betanken	100 bar auf 400 bar	5	4 %
Brennstoffzelle	Verstromung	142 (Oxidierung)	50 %

*einschl. Wasseraufbereitung, Kompression, Gebäudeenergiebedarf usw.

Gesamtkette Wasserstoff: Herstellung und Transport

Verfahrensschritt	Wirkungsgrad	Energieverlust in MJ	noch vorhandene Energie in MJ
Wechselstrom-ab Kraftwerk			100
Gleichrichter	95 %	5	95
Elektrolyse	75 %	23,8	71,2
Verdichtung auf 800 bar	88 %	8,5	62,7
Transport 400 km	75 %	15,7	47
Brennstoffzelle PAFC	38 %	29,1	17,9
Wechselrichter	95 %	0,9	17

Die Gleichrichtung entfällt, wenn der elektrische Strom von Photovoltaikzellen geliefert wird.
Zum Vergleich: Die direkte Übertragung der Wechselstromenergie über Hochspannungsleitungen bewirkt bei gleicher Entfernung von 400 km nur etwa 3 % Verluste, es kommen also noch **97 MJ** an.

Gesamtkette: Wasserstoffverflüssigung und -speicherung ohne Transport

Verfahrensschritt	Wirkungsgrad	Energieverlust MJ	noch vorhandene Energie MJ
Wechselstrom ab Kraftwerk			100
Gleichrichter	95 %	5	95
Elektrolyse	75 %	23,8	71,2
Verflüssigung 10000 kg/h	72 %	19,9	51,3
Tankverlust pro Tag	2 %	1	50,3
Brennstoffzelle PAFC	38 %	31,2	19,1
Wechselrichter	95 %	0,9	18,2

Quelle: European Fuel Forum, Wasserstoff löst keine Energieprobleme, Eigene Darstellung

Die Gleichrichtung entfällt, wenn der elektrische Strom von Photovoltaikzellen geliefert wird. Zum Vergleich: Ein Pumpspeicherkraftwerk hat etwa 80 % Wirkungsgrad und würde 80 MJ liefern.

Probleme

Der Wirkungsgrad der Elektrolyse ist mit 60 bis 80 % vergleichsweise zu gering.

- Die gespeicherte Energie kann mit Brennstoffzellen am effizientesten genutzt werden. Diese sind aber anfällig gegen feuchtes und kaltes Klima und derzeit (Mai 2010) liegt die Lebensdauer noch weit unterhalb üblicher Standzeiten konventioneller Technologien und arbeiten mit mäßigen Wirkungsgraden um 40 %.
- Die geringen Wirkungsgrade der notwendigen Umformungsschritte Elektrolyse und Brennstoffzelle begrenzen den Gesamtwirkungsgrad auf $0,7 \cdot 0,4 = 28\%$.
- Lagerung und Transport sind energieaufwendig und teuer, Tanks sind schwer und/oder groß, Leckagen und Diffusion verursachen große Verluste, die den Gesamtwirkungsgrad weiter verringern.
- Die Verbrennung von Wasserstoff in Motoren und Triebwerken ist nur bei niedrigen Verbrennungstemperaturen schadstofffrei, andernfalls entstehen Stickoxide, die nur mittels nachgeordneter Katalysatoren beseitigt werden können. Zur Erzielung hoher Wirkungsgrade in Verbrennungskraftmaschinen (Gasturbinen, Ottomotoren, Raketenantriebe) sind jedoch hohe Verbrennungstemperaturen wünschenswert.
- Die Realisierung großer Wirkungsgrade von Verbrennungskraftmaschinen erfordert neue Werkstoffe, die den hohen Temperaturen und Verbrennungsgeschwindigkeiten widerstehen können.

Quellen

1 European Fuel Forum, www.efcf.com "Wasserstoff löst keine Energieprobleme", Seite 30